

Das Problem der Modellierung historischer Prozesse mit geographischen Informationssystemen

Swiaczny, Frank; Ott, Thomas

Veröffentlichungsversion / Published Version
Zeitschriftenartikel / journal article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:
GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Swiaczny, F., & Ott, T. (1999). Das Problem der Modellierung historischer Prozesse mit geographischen Informationssystemen. *Historical Social Research*, 24(1), 75-100. <https://doi.org/10.12759/hsr.24.1999.1.75-100>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more Information see:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Das Problem der Modellierung historischer Prozesse mit geographischen Informationssystemen

*Frank Swiaczny und Thomas Ott**

Abstract: The paper presents a pragmatic and software independent method to build a layer-oriented historical GIS. Main emphasis is dedicated to the use of historical statistics and related base maps of the administrative and territorial subdivision. With this method, the extent of automation of geodata digitisation may be adjusted to the project budget as well as the scope and complexity of the spatio-temporal processes to be analysed. As a conclusion, the authors give some recommendations with regard of a standardised »historical spatial model of Germany« which would simplify data exchange among different projects and GIS users.

Einleitung

Der Einsatz Geographischer Informationssysteme (GIS)¹ hat sich in den vergangenen Jahren immer mehr durchgesetzt, so daß dieser heute kein Vorbehalt der geographischen Forschung und Raumanalyse bzw. der angewandten Stadt- und Raumplanung mehr ist, die seit den 60er Jahren die traditionellen Anwendungsgebiete darstellen. Geographische Informationssysteme finden zwischenzeitlich auch in Aufgabenfeldern wie Marketing, Logistik, Archäologie, Soziologie und anderen mehr eine sinnvolle Anwendung (vgl. SAURER/BEHR 1997: 181-204 sowie die Synonyme zu GIS in Tab. 1)². Der Marktanteil dieser Bereiche wächst derzeit ständig. Hierzu hat u.a. die Entwicklung einfach zu handhabender GIS und Desktop-Mapping Produkte für den PC beigetragen. Für diese „neuen“ GIS-Einsatzfelder wurden in den vergangenen Jahren ent-

* Address all communications to Thomas Ott (thott@rumms.uni-mannheim.de), Frank Swiaczny (frank@rumms.uni-mannheim.de), Geographisches Institut, Universität Mannheim, Schloß, D-68131 Mannheim.

¹ Einen kurzen Überblick über die Grundlagen Geographischer Informationssysteme gibt OTT (1993: 7-23). Dort auch weitere Literatur. Als neuere Einführung in deutscher Sprache vgl. SAURER/BEHR (1997).

² Zum Einsatz eines GIS für die historische Stadtforschung vgl. GREVE (1990).

sprechende Anwendungen auf der Basis bestehender GIS-Pakete entwickelt, so daß heute für viele kommerzielle Aufgaben Systemlösungen verfügbar sind. Auch das Angebot an Geometrie- und Sachdaten, die für den sinnvollen Einsatz von GIS erforderlich sind, hat sich stark erweitert. So haben verschiedene private wie öffentliche Anbieter sowohl digitale Ausgaben ihrer Karten³ (z.B. Landesvermessungsämter, Institut für angewandte Geodäsie, private Verlage) als auch entsprechend geokodierbare⁴ Datenbestände in ihrem Angebot (z.B. Informationssysteme der Statistischen Landesämter, GfK, Infas).

Tab. 1: GIS-Anwendungsgebiete – Synonyme

Bodeninformationssystem
 Datawarehouse-Informationssystem
 Geo-Informationssystem
 Geologisches Informationssystem
 Historisches (Geo-) Informationssystem
 Hochwasserinformationssystem
 Landinformationssystem
 Landschaftsinformationssystem
 Leitungsinformationssystem
 Marketinginformationssystem
 Ökologisches Informationssystem
 Raumbezogenes Informationssystem
 Rauminformationssystem
 Raumordnungsinformationssystem
 Regionales Informationssystem
 Regionalstatistisches Informationssystem
 Topographisch-kartographisches Informationssystem
 Umweltinformationssystem
 Verkehrsleitsystem

Quelle: erweitert nach OTT (1993: 7)

Ein Desiderat stellt dagegen die Zeit als analytische Kategorie dar, die in marktgängige GIS noch immer nicht implementiert worden ist (vgl. BILL 1992, LANGRAH 1993, GASCOIGNE o.J.)⁵ Dabei benötigt nicht nur die historische Forschung die Möglichkeit, historische Prozesse in einem GIS

³ Vgl. zu ALK und ATKIS DIDINGER (1996), FREVEL (1987), GRÜNREICH (1992) und SAURERBEHR (1997: 184-189).

⁴ Unter Geokodierung versteht man die Verknüpfung eines geographischen Objekts mit den jeweils zugehörigen Sachdatensätzen, unter Verwendung gemeinsamer Schlüsselwerte, in einem GIS.

⁵ Vgl. hierzu auch BLOBEL/LUTTERMANN (1995) sowie LUTTERMANN/BLOBEL (1995) zum Forschungsprojekt Chronos: „Integration von Zeit in GIS“.

abbilden und analysieren zu können. Die Kulturlandschaftsanalyse sei hier nur als ein Beispiel der geographischen Forschung genannt, bei der die Modellierung sozioökonomischer Prozesse in ihrem zeitlichen Verlauf für die Analyse der Kulturlandschafts-genese unerlässlich ist und die dazu auf historische Datenbestände zurückgreift.⁶ Heute erfordert vor allem der zunehmende Einsatz von GIS in der Planung, daß auch Fragestellungen mit historischer Perspektive sich moderner GIS-Methoden bedienen können, damit die Forschungsergebnisse adäquat in die Planungsprozesse eingebunden werden können (vgl. HENKEL 1997 und VERVLOET 1994: 445-458). Ein wesentliches Motiv zur Entwicklung eines historischen GIS stellt schließlich auch die Tatsache dar, daß umfangreiche Datenbestände, die in den vergangenen Jahrzehnten von den statistischen Ämtern und zahlreichen historischen und geographischen Forschungsprojekten in elektronischer Form gesammelt wurden, hierdurch neu in Wert gesetzt werden können.

Für die Entwicklung entsprechender Methoden und die Implementierung in praxistaugliche GIS erweist es sich dabei allerdings als nachteilig, daß es in der Bundesrepublik bisher keine Bestrebungen zur Entwicklung eines Standards für Geometrie- und Sachdaten mit Verlaufscharakter gibt.⁷ Von seiten der amtlichen Statistik fehlen hierzu auch noch wesentliche Vorarbeiten in Form von Datenbanken zur Territorialentwicklung, ohne die statistische Daten in ihrem Verlauf nicht in ein GIS integriert werden können. Zudem besteht das Problem, daß bisher keine flächendeckenden historischen Grundkarten für GIS existieren. Ein Vorhaben an der HTW Dresden beschäftigt sich gegenwärtig mit der Erstellung einer solchen Grundkarte für das Gebiet des Deutschen Reiches auf der Basis der Gemeindegrenzenkarte von Thudichum.⁸ Ob sich aus den Erfahrungen dieses Projektes allgemeingültige Standards für die Erstellung digitaler historischer Karten ableiten lassen, ist gegenwärtig noch offen.⁹ Neben dem Fehlen einheitlicher Standards wird die weitere Entwicklung vor allem dadurch gehemmt, daß in der Bundesrepublik keine Institution existiert, die als Clearinghouse die zahlreichen Einzelaktivitäten der für eine Kooperation in Frage kommenden Arbeitsbereiche koordiniert. Aufgabe des jüngst gegründeten „Fördervereins historische Grundkarte e.V.“ muß es daher sein, entspre-

⁶ Vgl. auch die ausführliche Zusammenfassung zu GIS in der Landschaftsökologie bei BLASCHKE (1997), die auch für historische Fragestellungen wichtige Hinweise gibt. Wesentliche Teile des vorliegenden Aufsatzes entstammen der Konzeption eines GIS für die Kulturlandschaftsanalyse im Rahmen eines Forschungsprojektes am Geographischen Institut der Universität Mannheim. Vgl. hierzu Ott/SWIACZNY (1998).

⁷ In anderen europäischen Ländern ist die Entwicklung z.T. weiter fortgeschritten. Für die Beispiele Belgien und Großbritannien vgl. VANHAUTE (1994) und SOUTHALL/WHITE (1997).

⁸ Vgl. hierzu die Denkschrift von Friedrich von THUDICHUM: Historisch-Statistische Grundkarten, Tübingen 1892.

⁹ Vgl. hierzu das im Rahmen des DFG-Programms „Retrospektive Digitalisierung von Bibliotheksbeständen“ geförderte Projekt „Historisch-Statistische Grundkarte“ am FB Vermessungswesen der HTW Dresden.

chende Forderungen zu formulieren und Diskussionsentwürfe zu erstellen, um die gegenwärtig an verschiedenen Institutionen laufenden Arbeiten zu koordinieren und auf künftig zu schaffende Standards vorzubereiten. Vordringliches Ziel muß es dabei sein, diese Koordination schnellstmöglich zu realisieren, damit die Arbeitsergebnisse gegenwärtig laufender Projekte mit vertretbarem Aufwand in ein noch zu schaffendes „historisches Raummodell von Deutschland“ integriert werden können. Dabei sollten die durch einen Standard definierten Anforderungen so gewählt werden, daß möglichst viele Kooperationspartner aus ihrer laufenden Forschungsarbeit zu einem historischen Raummodell von Deutschland beitragen können.

Ziel des vorliegenden Aufsatzes ist es, zu dieser Diskussion beizutragen. Hierzu soll zunächst in Kapitel 2 die Konzeption eines historischen GIS dargestellt werden. Kapitel 3 erläutert die theoretischen Ansätze zur Implementierung von Zeit in GIS und Kapitel 4 stellt einen praktischen Ansatz zur Modellierung historischer Prozesse in einem Layer-GIS vor. Da die gegenwärtig hinsichtlich Preis und Schulungsaufwand für Forschungsprojekte zur Auswahl stehenden GIS fast ausschließlich auf einer Datenorganisation in Schichten (Layer-Konzept, analog zur Datenhaltung in einem relationalen DBMS, vgl. Abb. 1)¹⁰ basieren, soll im Verlauf des Beitrages hierauf besonderer Bezug genommen werden. Der Diskussionsbeitrag kann somit keinen Anspruch auf Vollständig- oder Allgemeingültigkeit beanspruchen. Da layerorientierte GIS aus den oben genannten Gründen jedoch noch lange Verwendung finden werden, sind die Konsequenzen dieses Aufsatzes aber auch für weitergehende künftige Ansätze gültig.

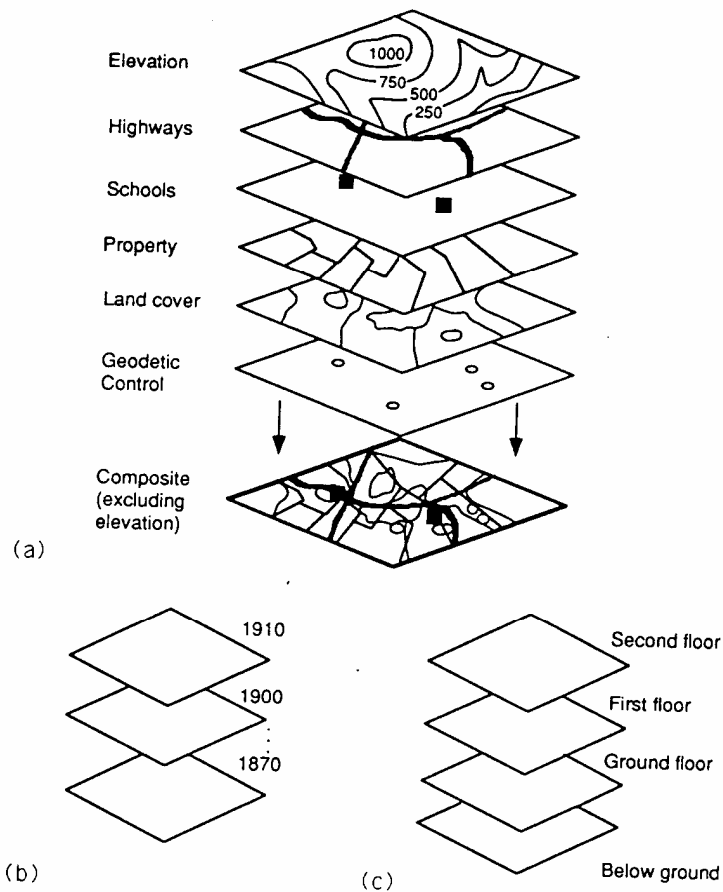
Zum Konzept eines historischen GIS

Ziel eines historischen GIS ist es, zeitliche Abläufe und Prozesse der Realwelt so in einem Modell abzubilden, daß sie der räumlichen Abfrage, Analyse und Darstellung zugänglich werden.¹¹ Dazu ist es erforderlich, die benötigten Informationen und Daten mit den zugehörigen räumlichen Objekten zu verknüpfen (Geokodierung). Der Weg von den Primärdaten zu verwertbaren Informationen und „Erkenntnis“ (*Data Value Chain*, vgl. GRAAFF/BOEKEMA 1997: 6), die eigentliche Modellbildung also, erfordert bei der Konzeption eines historischen GIS besondere Sorgfalt, damit sich sowohl die zeitlichen als auch die räumlichen Beziehungen abbilden und damit analysieren lassen.

¹⁰ Vgl. hierzu alternativ den Ansatz, objektorientierter GIS bei EBBINGHAUS (1994), GÜNTHER/LAMBERTS (1992), LAURINI/THOMPSON (1992) und MOLENAAR (1997).

¹¹ GIS is „...a Computer-supported procedure for the storage, search, manipulation, display, and analysis of spatial data...“ (MONMONIER 1989: 214).

Abb. 1: Schichtenmodell eines GIS



Quelle: LAURINI/THOMPSON (1992: 7)

Betrachtet man den Aufbau eines GIS am Beispiel der Darstellung in Abbildung 1, so zeigt sich, daß thematische, chronologische und vertikale Informationsschichten (Entitäten) eines GIS jeweils eigene Kategorien darstellen, die untereinander zunächst nicht miteinander in Beziehung stehen. Schon beim Aufbau des Datenmodells ist daher zu beachten, welche Informationsschichten später gemeinsam miteinander verarbeitet werden sollen bzw. welche Analysemethoden vorgesehen sind (z.B. Zeitschnitte vs. Prozeßanalyse). Auch der Maßstab bzw. die Genauigkeit, die zeitliche Erstreckung sowie die kleinsten zu

berücksichtigenden Raumeinheiten (z.B. Gemeinden vs. Kreise) müssen bereits in die Konzeption eingehen, da nachträgliche Änderungen nur schwer in ein bestehendes Datenmodell integriert werden können (vgl. de JONG/OTTENS 1997).

Abb. 2: Entwicklung eines Datenmodells für ein GIS

1. Konzeptuelles räumliches Modell: räumliches Verständnis der Realwelt
2. Konzeptuelles Datenmodell: Formalisierung des räumlichen Modells (Synthese externer Modelle)
3. Logisches Datenmodell (Entity-Relationship Modell): Daten und Datenstruktur
4. Physisches Datenmodell: Speicherung und Verarbeitung der Daten im Computer

Quelle: Eigener Entwurf nach HENDRIKS/OTTENS (1997: 5) und LAURINI/THOMPSON (1992: 357-362)

Wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche GIS-Nutzung ist daher das systematische Vorgehen bei der Operationalisierung der zentralen Fragestellungen. Die Abbildung 2 zeigt dabei die schrittweise Abstraktion vom konzeptuellen Modell der Realwelt bis zum physischen Datenmodell des Computers. Dabei muß berücksichtigt werden, welche Entitäten¹² und welche Beziehungen zwischen diesen in einem Modell der Realwelt abgebildet werden müssen (vgl. hierzu Kap. 3). Von besonderer Bedeutung ist dabei, daß bereits bei der Formulierung eines konzeptuellen Datenmodells externe Modellvorstellungen einfließen. Ein Beispiel hierfür ist die Annahme, daß die Zuordnung statistischer Daten zu Territorialeinheiten eine Aussage über die räumliche Struktur der zu untersuchenden Prozesse erlaubt, wobei natürlich bereits in die Auswahl von statistischen Variablen, z.B. von Daten zur Demographie und Wirtschaftsstruktur als Indikatoren für sozioökonomischen Wandel, externe Modellvorstellungen eingehen. Die Auswahl des räumlichen Objektes, mit dem eine Information verknüpft und auf der sie damit im GIS-Modell abgebildet wird, hat damit

¹² „An entity is a person, place, thing or event. The Mr Green's parcel, the building 2314, the car number 34HP89, the flight 123, are entities in the real world.“ (LAURINI/THOMPSON 1992: 362).

nicht nur Auswirkungen auf die Analysemöglichkeiten, es fließen hier auch bereits Annahmen über Wirkungszusammenhänge ein, die eigentlich Ziel der Untersuchung sind.¹³

Ungeachtet dieser methodischen Probleme, die ursächlich nicht durch den Einsatz von GIS begründet werden, stellen abstrakte administrative und Territorialeinheiten, denen keine direkten Entsprechungen in der Realwelt gegenüberstehen, die wichtigste Kategorie räumlicher Elemente für den Aufbau eines historischen GIS dar. Dabei werden die jeweiligen Territorien, entsprechend ihrer flächenhaften Ausdehnung, im GIS als Regionen-Objekte (Polygone) modelliert. Über die Verknüpfung mit den zugehörigen Sachdaten können auf der Basis dieser Grundkarte (Layer) verschiedene Informationsschichten (Entitäten) abgebildet werden.¹⁴ Eine weitere wichtige Kategorie stellen Städte und Gemeinden dar. An ihnen läßt sich auch die Maßstabsabhängigkeit eines GIS demonstrieren. Je nach Maßstab können Städte und Gemeinden in ihrer räumlichen Ausdehnung als Regionen-Objekte oder nur generalisiert als Punkt-Objekte dargestellt werden. Sollen mehrere Maßstäbe verwendet werden, können entsprechende Generalisierungsvorschriften im GIS vorgehalten und z.B. durch Konvertierung von Flächen in Punkte umgesetzt werden. Der Unterschied zwischen Punkt- und Regionen-Objekt zeigt sich auch in den Analysemöglichkeiten. So verfügen Regionen-Objekte u.a. über die Eigenschaft des Flächeninhalts. Auch lassen sich z.B. Objekte, die innerhalb eines Regionen-Objekts liegen, mit ihren zugehörigen Sachdaten aggregieren. Punkt-Objekte bieten diese Optionen aus offensichtlichen Gründen nicht. Als Punkt-Objekte lassen sich auch weitere, maßstabsabhängig als punkthaft zu interpretierende Standorte wie Fabriken, Steinbrüche, Fundstellen o.ä. darstellen, deren Verteilung und Entwicklung für die historische Forschung von Interesse ist. Weitere wichtige Elemente eines historischen GIS wie Verkehrswege und Flüsse können als Linien-Objekte ebenfalls modelliert werden. Aus den drei Grundelementen Region, Linie und Punkt können somit alle erforderlichen räumlichen Objekte gebildet werden. Die Tabelle 3 stellt eine Auswahl der mit GIS möglichen Operationen und Analysen für diese drei Grundelemente dar.¹⁵

In Ergänzung zu den Analysemöglichkeiten zeigen die Modellansätze in Abbildung 4 wie die eingangs beschriebenen, zunächst nicht miteinander verbundenen thematischen, chronologischen und vertikalen Informationsschichten eines GIS miteinander verknüpft werden können. Lage-, Attribut- und Zeitrei-

¹³ Vgl. zum Problem der Repräsentation räumlicher Prozesse durch Geoobjekte KOL LARITS (1996) und Swiaczny (1997).

¹⁴ Beachte hier den Widerspruch zwischen dem logischen Datenmodell (Entity-Relationship-Modell) und dem layerorientierten physischen Datenmodell, das für die Beispiele in diesem Kapitel zugrunde gelegt wurde.

¹⁵ Vgl. auch MAGUIRE/DANGERMOND (1991). Zum Umgang mit räumlich und zeitlich undeterminierten Objekten vgl. ALBRECHT (1995). Zur räumlichen und zeitlichen Analyse vgl. bspw. DUMFARTH (1996), LANG (1984), RASE (1996) und UNWIN (1996).

henanalyse gehen dabei in ein multivariates historisch-geographisches Modell ein, das Voraussetzung für eine komplexe Prozeßanalyse ist.¹⁶

Tab. 2: Operationen und Analysen mit GIS

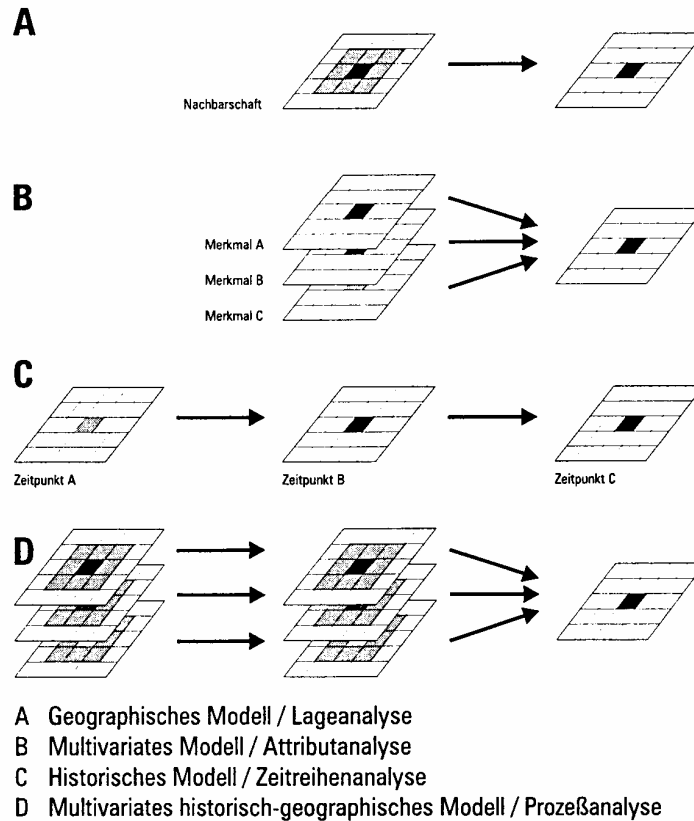
Analysekategorie	Analyseverfahren	Datenstruktur			
		Raster	Punkt	Linie	Fläche
1. Abfrage- und Vermessungsfunktionen	Abfrage von Lage, Länge, Flächeninhalt, Umfang, usw.	•	•	•	•
2. Statistische Analysen	Abfrage von zugeordneten thematischen Eigenschaften uni- und bivariate Verfahren multivariate Verfahren Geostatistik	•	•	•	•
3. Überlagerung und Verschnidung	Geostatistik Boolesche Operatoren: gemeinsames kombiniertes Vorkommen (AND.), gemeinsames Ausdehnungsgebiet (OR.), einseitiger Ausschluss (NOT.) oder wechselseitiger Ausschluss (XOR.) Fuzzy-Logik: Insbesondere bei der Bearbeitung natürlicher Phänomene ist die Boolesche Logik „zu genau“. Durch Einsatz der Fuzzy-Logik können die strengen Kriterien abgeschwächt und der Kontinuumscharakter besser berücksichtigt werden.	•	(•)	(•)	•
4. geometrisch-topologische Operationen	Pufferbildung (diskrete Distanzkorridore um Punkte, Linien oder Flächen) Nachbarschaft Interaktion Distanz, Diffusion	(•)	•	•	•
5. Interpolationsfunktionen	Digitales Geländemodell statistische Oberflächen Thiessenpolygone	•	•	–	–
6. Netzwerkfunktionen	bester Weg bester Standort „travelling salesman“	–	–	•	(•)
7. Modellierungs- / Simulationsfunktionen		•	•	•	•

Quelle: eigener Entwurf

¹⁶ Zur Modellierung komplexer Mensch-Umweltbeziehungen in einem GIS vgl. auch OTT/SWIACZNY (1998).

Abb. 3: Modellebenen in GIS

Quelle: KILCHENMANN (1992: 9), verändert



Wie sich ein GIS aus einzelnen Informationsschichten zusammensetzt und welche Vielfalt an Inhalten darstellbar ist, zeigt das Beispiel des Konzepts für ein länderkundliches GIS, wie es am Institut für Länderkunde in Leipzig entwickelt wurde.¹⁷ Ziel dieses länderkundlichen GIS ist eine landeskundliche Inventarisierung, die sich an einer problemorientierten länderkundlichen Darstellung orientiert. „Im Konzept der landeskundlichen Inventarisierung werden nach den zu erfassenden Inhalten vier Kategorien von Objekten unterschieden: Na-

¹⁷ Vgl. MARGRAF (1994a, 1994b) und (1995), grundlegend ist auch DOLLINGER (1989). Zur Kulturlandschaftsinventarisierung auch DENECKE (1972, 1987), DRIESCH (1987), FFHN/SCHENK (1993), KLEEFELD (1994) und QUAISTEN/WAGNER (1996).

turflächen und -punkte, Fluren und Gemarkungen, Siedlungen sowie Einzelobjekte. ... Neben den Kartengrundlagen, der Topographie, der administrativen und naturräumlichen Gliederung als Grundinformationen der räumlichen Orientierung werden insbesondere Informationen zu Struktur und Funktion, zur Widerspiegelung von Historie und Genese sowie zur Beschreibung und Bewertung des aktuellen Zustands erfaßt“ (MARGRAF 1995: 132). Die Überschneidungen zu einem historischen GIS sind dabei offenkundig. Die meisten Informationsschichten des länderkundlichen GIS verfügen über einen historischen Verlauf und sind damit natürlich auch potentielle Bestandteile eines historischen GIS. Zugleich wird deutlich, daß sich historische Prozesse selten monokausal mit nur einer Informationsschicht darstellen lassen. Spätestens wenn Lagebeziehungen oder Standortmodelle in die Analyse eingehen sollen, werden in Ergänzung zur Territorialentwicklung zusätzliche Layer zur Bildung weiterer Informationsschichten erforderlich.

Spezielle Probleme eines historischen GIS betreffen die räumliche und zeitliche Reliabilität der Geodaten. Sollen die einzelnen Informationsschichten eines GIS nicht unverbunden nebeneinander stehen, ist es grundsätzlich erforderlich, daß auf der Ebene des physischen Datenmodells, der redundanten Speicherung in Layern, identische Punkte (auch als Bestandteile von Linien und Polygonen) durch genau ein Koordinatenpaar abgebildet werden. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich z.B. um identische Punkte in unterschiedlichen thematischen Layern handelt, oder um solche in unterschiedlichen Zeitschichten oder Maßstäben. Hinsichtlich der praktischen Datenerfassung stellen letztgenannte Möglichkeiten jedoch die größten Herausforderungen dar. Während sich die obengenannte Forderung bei thematischen Schichten relativ leicht realisieren läßt, sofern aus einer einzigen Grundkarte gearbeitet werden kann, müssen bei historischen Prozessen mehrere Zeitschnitte aus unterschiedlichen Karten erfaßt (digitalisiert) werden, die zudem häufig auch noch in unterschiedlichen Maßstäben vorliegen. Gegenüber unterschiedlichen thematischen Schichten eines Zeitschnitts, die häufig aus Kartengrundlagen mit übereinstimmender, zumindest hinreichender Genauigkeit zusammengesetzt werden können, wird die Erfassung von historischen Verläufen durch die Verwendung unterschiedlicher Projektionen und Maßstäbe sowie durch eine zu unterschiedlichen Zeiten stark schwankende Genauigkeit erschwert. Obwohl diese Probleme grundsätzlich methodisch und mit entsprechendem programmtechnischem Aufwand auch in der Umsetzung beherrschbar sind, stellen sie kleinere Forschungsprojekte in der Praxis doch häufig vor unlösbare Schwierigkeiten.¹⁸ Ein Ansatz, dieses Problem zu lösen, wird in Kapitel 4 vorgestellt.

¹⁸ Vgl. auch BASOGLU/MORRISON (1978) und DE JONG/OTTENS (10).

Abb. 4: *Länderkundliches GIS*

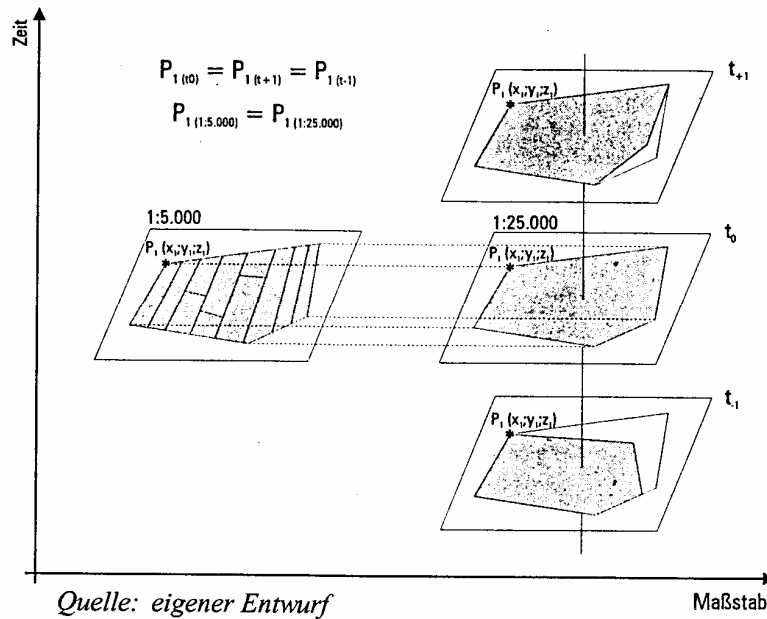
Daten (Layer)		Naturflächen / Naturpunkte	Flur / Gemarkung	Siedlungen	Einzelobjekte
Karten- grundlage:	TK 1:25 000	Thematische Karten		TK 1:25 000	Thematische Karten
	Historische Karten Flurkarten / Areal Siedlungsformenkarte Geschichte-Karte Wirtschaftskarte Fremdenverkehrskarte Verkehrskarte		Historische Karten Flurkarten / Areal	Historische Karten (16./17./18./19. Jh.) Siedlungsformenkarte Geschichte-Karte Wirtschaftskarte Fremdenverkehrskarte Verkehrskarte	Historische Karten (16./17./18./19. Jh.) Siedlungsformenkarte Geschichte-Karte Wirtschaftskarte Fremdenverkehrskarte Verkehrskarte
Topographie: TK23 (Mittelbühl)		Geländehöhe Gewässernetz	Geländehöhe Gewässernetz	Koordinatengitter Geländehöhe: von - bis Gewässernetz	
Verwaltungs- einheiten:	Bundesland	Bundesland	Bundesland	Bundesland	Bundesland
	Regierungsbezirk Landkreis Gemeinde Ortschaft (e)	Regierungsbezirk Landkreis Gemeinde Ortschaft	Regierungsbezirk Landkreis Gemeinde Ortschaft	Regierungsbezirk Landkreis Gemeinde Ortschaft (e)	Regierungsbezirk Landkreis Gemeinde Ortschaft (e)
Naturräumliche Gliederung		Flurnamen	Flurnamen		Siedlung Gemarkung
Struktur / Funktion		Makro-/Meso-/Mikrochore Landemauer Geologischer Untergrund Geländeform Gewässernetz, Grundwasser Vegetation, Tierwelt Naturraum	Flächen- Landnutzung Land- und forstwirtschaftliche Sonstige: (Weinberg, Wasser, Erholungsfläche) Flur- Landnutzung (Privat, Gemeindefunktion, Kommune, Kirche, Staat, Militär)	Struktur / Funktion Migration: Entwicklung, Veränderung Bevölkerung, Alter / Beschäftigung Land- und forstwirtschaftl. / Gartenbau Industrie, Handwerk Infrastruktur, Verkehrsmittel Zentralitätsmerkmale	
Historie / Genese			Historische Flurform	Geschichte Siedlungsform Gründungszeit, Schreibweisen Ur- / frühgeschichtliche Funde Orts- / Ortsnamen	Historische Angaben (Jahr) Jahr der Entstehung ersten Nennung Veränderung (Erweiterung, Renovierung)
Beschreibung / Bewertung / Situation aus aktueller Sicht:		Landeskultur / Umwelt Umweltbelastung, -schäden Deponien, Altlasten Umweltschutz/Landschaftspflege Umweltgestaltung Melioration / Windschutz Bodenerosionsschutz Bewässerung Naturschutz (Gebiete, Biotope, Artenenschutz)	Größe 1900 1990 Steuerkreuz / Grenzsteine Grenzlinie	Siedlungsbild Gesamtsiedlungsbild Vollbauweise: - Gehöfte - Häuser Urbane Bauen: - Herrenhäuser - Schlösser - Rittersitze - Kirchengebäude - Schulgebäude - Zweckbauten	Objektbeschreibung Lage (Bauart) Beschreibung Nutzungsbildung Heutiger Zustand Architekt, Baumeister Bauherr

Quelle: MARGRAF (1995: 133)

Aus der Forderung nach räumlicher und zeitlicher Reliabilität ergibt sich das zentrale Problem, wie sich die zeitlichen Aspekte eines historischen GIS in einem logischen Datenmodell repräsentieren und anschließend in einem physischen Datenmodell wiedergeben lassen (vgl. auch FLIEDNER 1987). Das weiter oben beschriebene strukturierte Vorgehen bei der Entwicklung eines GIS soll hierbei jedoch nicht als Selbstzweck betrieben werden. Es erlaubt vielmehr, zunächst einen Überblick über die zu analysierenden Systemzusammenhänge zu gewinnen. Je genauer diese Systemzusammenhänge, vor dem Hinter-

grund theoretischer Kenntnisse, modelliert werden, desto einfacher und zielsicherer läßt sich im nächsten Schritt aus dem logischen Entity-Relationship-Objektmodell das physische Datenmodell aufbauen (vgl. auch CAR/FRANK 1995). Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß fehlende Beziehungen bereits aufgedeckt werden können, bevor mit der eigentlichen Datenerfassung begonnen wird.

Abb. 5: Räumliche und zeitliche Reliabilität in einem Layer- GIS

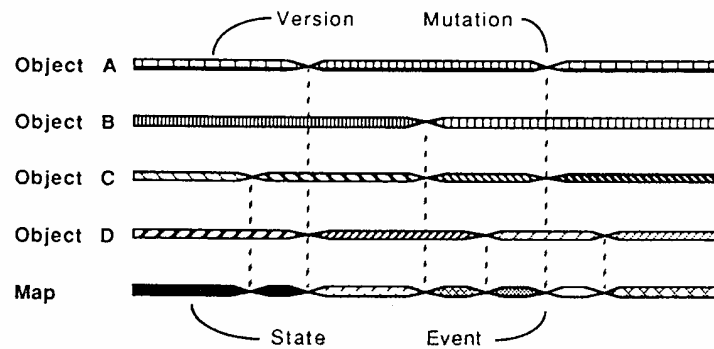


Theoretische Konzepte zur Implementierung von Zeit in GIS

Da die Konstruktion der Datenobjekte starken Einfluß auf die Analyse-möglichkeiten ausübt, worauf bereits hingewiesen wurde, können diese bereits in diesem frühen Stadium auf ihre Zweckdienlichkeit hin überprüft und gegebenenfalls noch geändert werden. Ein weiteres Argument für dieses Vorgehen stellt die Tatsache dar, daß das Entity-Relationship-Objektmodell eine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der zu bearbeitenden Quellen und Daten darstellt, weil es erlaubt, nicht benötigte oder redundante Informationen zu identifizieren und somit Bearbeitungszeit und Kosten zu sparen. Dabei wird die Bedeutung dieser theoretischen Überlegungen jedoch durch die Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Quellen relativiert, da diese eben nicht in jeder

gewünschten zeitlichen und räumlichen Auflösung zur Verfügung stehen oder gewonnen werden können.

Abb. 6: Die Topologie kartographischer Zeit



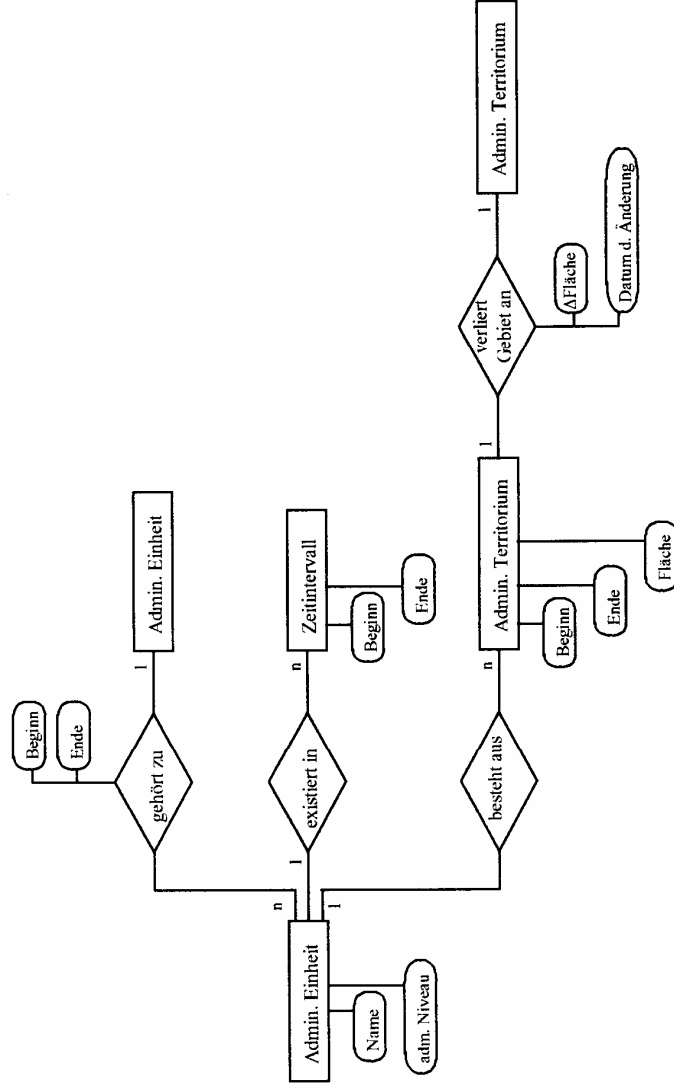
Quelle: LANGRAN (1993: 33)

Da sich die Zeit als Kontinuum zunächst der direkten Operationalisierung in einem GIS entzieht, sollen hier die beiden wichtigsten Konzepte gegeneinander gestellt werden, mit denen sich Zeit in einem GIS abbilden läßt. Bereits in Abbildung 1 wurde eine Folge einzelner Zeitscheiben dargestellt. Diese traditionelle Methode hat weite Verbreitung gefunden. In analoger Form basieren auf ihr fast alle historischen Karten und Atlanten. Auch im Bereich der GIS hat sich diese Methode aufgrund ihrer einfachen Handhabung stark durchgesetzt. Obschon auch eine Serie von Zeitscheiben geographische Operationen und Analysen ermöglicht (vgl. Tab. 2), eignet sich diese Methode nur für klar abgegrenzte Fragestellungen. So lassen sich mit diesem Ansatz z.B. sehr einfach Volkszählungsergebnisse auf der Basis unterschiedlicher Territorialstände miteinander vergleichen. Dabei ist jedoch jeder Layer nur für den Zeitpunkt des jeweiligen Territorialstandes gültig. Da diese unverbunden nebeneinander stehen, bedeutet dies, daß zusätzliche Daten für einen dazwischen liegenden Zeitpunkt nicht verarbeitet werden können. Möglich wird dies erst, wenn das Kontinuum soweit in diskrete Zeitscheiben zerlegt wird, daß diese alle Änderungen wiedergeben, die für das Entity-Relationship-Modell von Bedeutung sind. In Abbildung 6 wird dieses Prinzip verdeutlicht und dargestellt, wie sich Objekte aus mehreren Versionen (in unserem Beispiel Territorialstände) zusammensetzen und wie sich die Veränderungen (Mutation) mehrerer Objekte in einem neuen Zeitstrahl niederschlagen, der jeweils Sachstände (State) und Sachstandsänderungen (Event) wiedergibt. Aus diesen diskreten Schritten läßt sich die Zeit als Quasi-Kontinuum zusammensetzen (vgl. BILL 1992).

Bereits 1978 haben BASOGLU und MORRISON eine Datenstruktur für ein GIS beschrieben, die es ermöglichte, die zeitliche Entwicklung administrativer Einheiten abzubilden. Bei dieser Datenstruktur wurde ein Entity-Relationship-Modell auf der logischen Ebene und eine einfache objektorientierte Struktur für das physische Datenmodell kombiniert (vgl. hierzu Kap. 4). Hier soll zunächst das logische Entity-Relationship-Modell vorgestellt werden, das am Zentralarchiv für Empirische Sozialforschung zur Erfassung der Territorialstruktur des Landes Preußen zwischen 1871 und 1945 verwendet wird (vgl. PIERAU 1996, 1998 und Abb. 7).

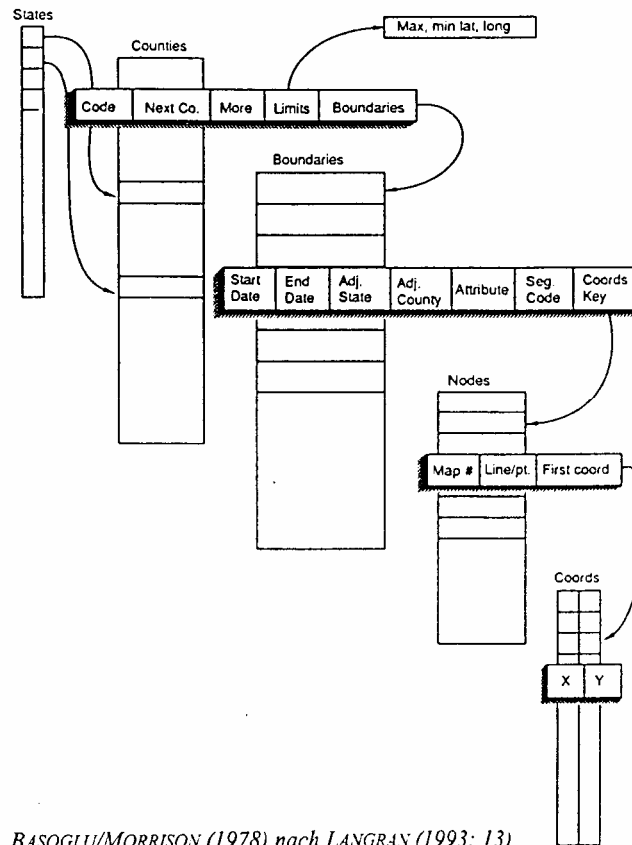
Die Problemstellung, die mit dem Entity-Relationship-Modell in Abbildung 8 darzustellen ist, besteht darin, daß territoriale oder administrative Einheiten nur für einen bestimmten Zeitraum Gültigkeit besitzen und gegebenenfalls sowohl Vorgänger als auch Nachfolger mit anderer räumlicher Abgrenzung haben können. Die Raumeinheit kann dabei aus der Fläche einer oder mehrerer Raumeinheiten neu entstehen, kann Fläche von einer oder mehreren Raumeinheiten hinzugewinnen oder Fläche an eine oder mehrere Raumeinheiten abgeben und schließlich in einer oder mehreren Raumeinheiten aufgehen. Das räumlich, zeitlich und in seinen Beziehungen zu anderen Objekten festgelegte Objekt „Raumeinheit“ verfügt darüber hinaus noch über Beziehungen zu anderen Objektkategorien, so ist z.B. die „Gemeinde“ Teil hierarchisch übergeordneter Raumeinheiten. An jedes Objekt sind dabei weitere inhaltliche Attribute geknüpft, z.B. statistische Werte, die zugleich wieder, innerhalb der „Lebensdauer“ des Objekts, einen zeitlichen Verlauf aufweisen können. Das so entstandene Entity-Relationship-Modell läßt sich schließlich in der Datenstruktur eines RDBMS abbilden und erlaubt so, die Territorialentwicklung zunächst einmal ohne Raumbezug zu erfassen. Die Abbildung 8 zeigt, wie sich dieses Modell um die räumliche Komponente erweitern läßt. Dabei werden die Polygonzüge der Grenzen (Boundaries) durch Liniensegmente (Nodes) und diese wiederum durch Punkte (Koordinatenpaare) zusammengesetzt.

Abb. 7: E-R Modell der Territorialentwicklung



Quelle: PIERAU (1998)

Abb. 8: Datenstruktur für zeitliche "County"-Grenzen



Quelle: BASOGLU/MORRISON (1978) nach LANGRAN (1993: 13)

Praktischer Ansatz zur Modellierung historischer - Prozesse in einem Layer-GIS

In Kapitel 2 und 3 wurden zahlreiche Erfordernisse dargestellt und theoretisch begründet, die den Einsatz eines objektorientierten GIS für die Analyse zeitlicher Verläufe als notwendig erscheinen lassen. Nur ein System, das die räumlichen Daten auch auf der physischen Ebene vollständig objektorientiert verwaltet, ist in der Lage, alle gestellten Erfordernisse zu erfüllen, da es sowohl maßstabsunabhängig als auch zeitlich und thematisch vollständig flexibel ist.

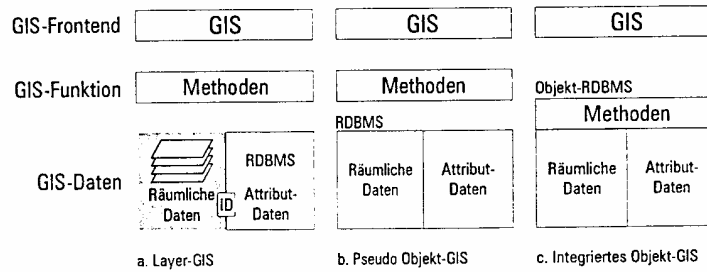
und nachträgliche Erweiterungen zuläßt (vgl. Abb. 9). Leider stehen solche Systeme bisher im Bereich der Desktop-GIS nicht zur Verfügung, so daß - soweit dies möglich ist - die Umsetzung des logischen Datenmodells auf physischer Ebene durch die Kombination von layerorientierten GIS und relationalen DBMS erfolgen muß.

Ein grundsätzliches Problem bei der physischen Repräsentation räumlicher Objekte in einem Vektor-GIS, das bereits in Kapitel 2 angesprochen wurde, ist die räumliche und zeitliche Reliabilität des Datenmodells (vgl. Abb. 5). Bei einem objektorientierten physischen Datenmodell kann dies dadurch erreicht werden, daß alle räumlichen Objekte aus einzelnen Punkten aufgebaut werden. Da einzelne Objekte ausschließlich über ihre Beziehungen zu einzelnen Punkten definiert werden, können verschiedene Objekte problemlos auf identische Punkte zugreifen (vgl. BASOGLU/MORRISON 1978). Auch das Problem, daß sich beim Erfassungsvorgang aus unterschiedlichen Quellen auch bei guter räumlicher Genauigkeit keine identischen Punkte erzeugen lassen, spielt hierbei keine Rolle, da sich mit Hilfe von automatisierbaren Algorithmen, im Rahmen vorgegebener Genauigkeitsgrenzen, identische Punkte auf die genaueste Quelle zurückführen und redundanzfrei verwalten lassen. Außerdem lassen sich bei einem integrierten objektorientierten GIS (vgl. Abb. 9) auch die Methoden der Objekte im System verwalten, so daß für jedes Objekt z.B. die zulässigen Operationen und Metadaten zugewiesen werden können (vgl. Abb. 10).

Anders ist dies bei der Datenhaltung in einem layerorientierten GIS. Hier wird es erforderlich, daß identische Punkte, Linien, Regionen oder Teile davon in jedem inhaltlichen oder zeitlichen Layer redundant gehalten werden. Hierzu muß der kontinuierliche Verlauf des objektorientierten logischen Datenmodells in ein diskretes Layermodell zerlegt werden (vgl. Abb. 11 und Kap. 3). Räumliche und zeitliche Reliabilität zu gewährleisten ist hierbei nur unter dem Einsatz des Prinzips der „Kleinsten Gemeinsamen Geometrien“ (KGG) möglich. Hierbei werden alle räumlichen Objekte eines Layermodells solange miteinander verschnitten, bis Elemente (KGG) entstehen, aus denen sich alle Elemente der Layer wieder durch einfache Kombination zusammenfügen lassen (vgl. u.a. KILCHENMANN 1991: 14-15). Sowohl die Ergänzung um weitere thematische Ebenen als auch die Erweiterung um zusätzliche zeitliche Ebenen ist bei dieser Methode kaum noch möglich, so daß die Planung sehr genau erfolgen muß. Soll das System nicht nur den Erfordernissen eines bestimmten Projekts entsprechen, müssen daher alle Änderungen des Territorialstandes berücksichtigt und entsprechend viele Zeitscheiben vorgesehen werden, um die Zeit als Quasi-Kontinuum abzubilden, wie in Kapitel 3 beschrieben.

Die Erzeugung der kleinsten gemeinsamen Geometrien und die anschließende Rekombination zu Layern soll hier am Beispiel administrativer Grenzen erläutert werden und gilt analog auch für alle anderen thematischen und zeitlichen Ebenen eines Layer-GIS.

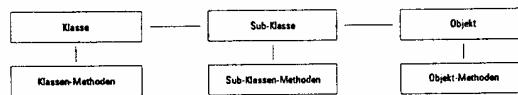
Abb. 9: Physische GIS-Datenmodelle im Vergleich



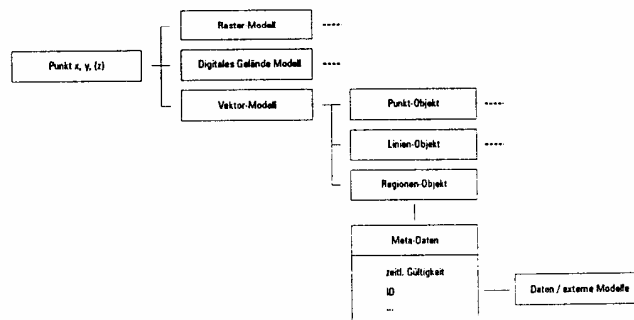
Quelle: eigener Entwurf nach WESSELS (1997)

Abb. 10: Objektrelationales Datenmodell und GIS-Entity-Relationship-Modell

A: Objektrelationales-Datenmodell

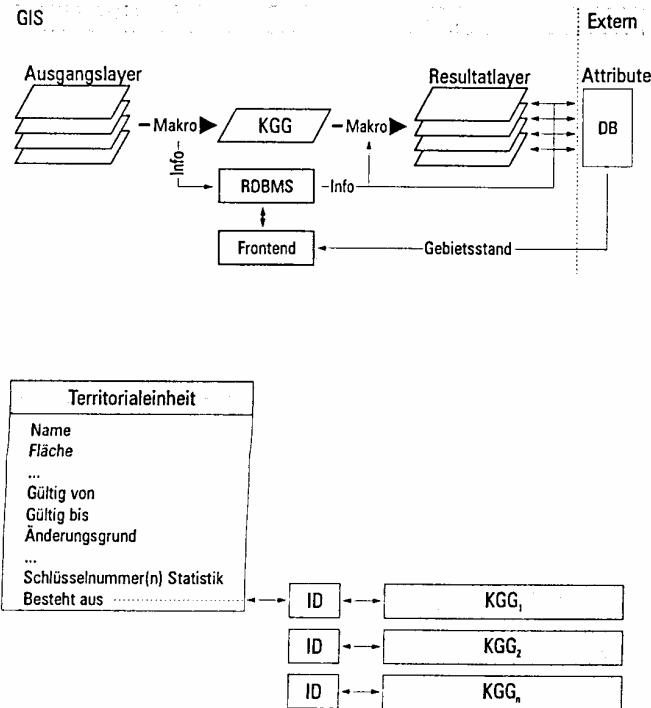


B: GIS Entity-Relationship-Modell



Quelle: eigener Entwurf nach MOLENAAR (1997)

Abb. 11: Abbildung eines objektorientierten logischen Datenmodell mit Hilfe eines layerorientierten GIS und relationalen DBMS



Quelle: eigener Entwurf

Die Problemstellung sieht dabei vor, daß aus den zur Verfügung stehenden Karten (Zeitschnitte) sowie externen Quellen die Entwicklung der administrativen Einheiten rekonstruiert werden soll, um schließlich zeitliche Layer zu erzeugen, die beliebige, nicht mit den verfügbaren Karten übereinstimmende Zeitschnitte ermöglichen.

- 1) Rückschreitend werden die Änderungen der administrativen Einheiten in einer Datenbank erfaßt. Dabei müssen sowohl die Art der Änderungen als auch die beteiligten Einheiten so erfaßt werden, daß sich jede Änderung einer Grenze zusammen mit der Größe der betroffenen Fläche, dem Änderungstermin und den beteiligten administrativen Einheiten darstellen läßt. Dabei sollte die Datenbank so strukturiert werden, daß sich für jede administrative Einheit sowohl Beginn als auch Ende sowie jede Änderung ergibt. Die Fläche der Änderung dient der Kon-

trolle bei der Erfassung der räumlichen Informationen. Vorteilhaft ist auch, wenn neben räumlichen Änderungen bereits die Schlüsselnummern mitverwaltet werden, die der Koppelung mit den Sachdaten dienen und die sich gegebenenfalls unabhängig von räumlichen Neugliederungen geändert haben können.

- 2) Ausgehend von der Kartengrundlage im größten Maßstab wird der aktuelle Stand der administrativen Einheiten durch Vektordigitalisierung erfaßt. Dabei ist auf eine möglichst detaillierte Digitalisierung zu achten. Gegebenenfalls kann hier auf Vorarbeiten aus dem ATKIS-Datenbestand zurückgegriffen werden (vgl. hierzu auch Kap. 1).
- 3) Für jede Änderung wird ein neuer Layer angelegt. In diesem werden die Änderungen so digitalisiert, daß identische Linien aus dem bereits erfaßten Datenbestand übernommen werden, die Änderungen aus geeignetem Kartenmaterial. Dabei müssen Verzerrungen, Projektionsfehler u.ä. Ungenauigkeiten gegebenenfalls visuell korrigiert und möglicherweise auf das Referenzkartenmaterial übertragen und dort digitalisiert werden, sofern eine Entzerrung nicht mit einfachen Mitteln möglich ist.
- 4) Durch Verschneidung dieser Ebenen werden die KGGs erzeugt. Dabei entsteht für jede Veränderung neben den veränderten Ausgangsflächen mindestens eine zusätzliche neue Fläche, wobei jede dieser Flächen eine neue Schlüsselnummer erhält. In der Datenbank wird die Kombination jeder Ausgangsfläche aus den neuen KGGs durch einen Verweis auf die neuen Schlüsselnummern festgehalten. Veränderungen, die sich ohne Digitalisierung aus der reinen Kombination bereits vorhandener Flächen abbilden lassen, werden analog in der Datenbank erfaßt. Die Flächengröße der neuen Flächen wird zur Kontrolle mit den in der Datenbank erfaßten Flächengrößen verglichen.
- 5) Der entstehende Layer bildet jeweils die Grundlage für eine fortschreitende Digitalisierung und Verschneidung. Als Ergebnis entsteht ein Layer mit den KGGs und eine Datenbank, die die Informationen zur Rekombination der KGGs zu den jeweiligen administrativen Einheiten enthält.
- 6) Aus der Datenbank werden alle administrativen Einheiten, mit ihrer Schlüsselnummer und den Schlüsselnummern der KGGs, die für den jeweiligen Zeitschnitt gültig sind, extrahiert. Die Liste dient der Rekombination der administrativen Einheiten aus den KGGs, die in einer Kopie des KGG-Layers durchgeführt wird. Hierzu werden schrittweise die KGGs der entsprechenden administrativen Einheit ausgewählt, vereinigt und dem neuentstandenen Objekt die Schlüsselnummer der administrativen Einheit zugewiesen. Damit steht ein Layer zur Verfügung, dem entsprechende Sachdaten über die Schlüsselnummern zugewiesen werden können.

Das Beispiel zeigt, daß die Nachbildung von zeitlichen Verläufen (dies gilt auch für die gemeinsame Verarbeitung von unterschiedlichen thematischen Schichten), sofern identische Grenzen vorhanden sind, in einem layerorientierten GIS äußerst aufwendig ist. Die nachträgliche Erweiterung um zusätzliche Daten und damit Zeitschnitte bzw. neue thematische Schichten erfordert jeweils eine völlige Überarbeitung des Datenbestandes. Auch ist es praktisch nicht mehr möglich, zusätzliche Details in einem größeren Maßstab zu erfassen und in die vorhandene Datenstruktur zur gemeinsamen Verarbeitung zu integrieren.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde ein praxisorientierter Ansatz präsentiert, der es ermöglicht, unabhängig von der eingesetzten Software, ein historisches GIS in einem Layermodell zu realisieren. Dabei wurde der Schwerpunkt der Ausführungen auf die Nutzung historischer Statistiken und die hierfür erforderlichen Grundkarten der administrativen und territorialen Gliederung gelegt. Der Grad der Automatisierung bei der Erfassung der Geodaten läßt sich dabei beliebig dem Umfang und der Komplexität der abzubildenden Prozesse sowie dem zur Verfügung stehenden Projektbudget anpassen. Sofern das eingesetzte GIS über eine offene Schnittstelle für Geodaten verfügt, ist es grundsätzlich auch möglich, die zunächst in Layern verwalteten Daten später in eine objektorientierte Struktur zu überführen. Hinsichtlich der Standardisierung müssen, um Daten unterschiedlicher Datenproduzenten gemeinsam in einem „historischen Raummodell Deutschlands“ verarbeiten zu können, einige Punkte wie Digitalisierungsmaßstab und -genauigkeit, Projektion, Objektklassen und -Schlüssel definiert werden (vgl. STANECK/SMITH/GIORDANO 1995).

Welche Festlegungen hierzu mindestens erforderlich und praktisch umsetzbar sind, kann nur die weitere Diskussion der Datenproduzenten zeigen.

Der Vorschlag der Autoren geht jedoch dahin, zunächst nur hinsichtlich zweier Punkte verbindliche Regeln vorzusehen:

- 1) Der Entwicklung administrativer und territorialer Einheiten seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts. Kleinste Territorialeinheiten sollten dabei die Gemeinden darstellen. Maßstab, Projektion, Generalisierungsregeln und Genauigkeit sollten dabei so bestimmt werden, daß sowohl der regionale als auch der deutschlandweite Einsatz möglich ist.
- 2) Der Dokumentation (Metadaten) und Integration individueller Erweiterungen zu den unter 1. genannten Inhalten.¹⁹

¹⁹ Vgl. zu Metadaten GREVE (1997), STROBL (1995) und TIMPF/FRANK (1997).

Literatur

- ALBRECHT, J. (1995): A framework for dealing with spatially and temporally undetermined geographic objects. In: KREMERS, H./W. PILLMANN (Hg.) (1995): Raum und Zeit in Umweltinformationssystemen. 9th international Symposium on computer science for environmental protection CSEP '95. Teil I. Umwelt-Informatik aktuell 7, Marburg, S. 143-150.
- BASOGLU, U./J. MORRISON (1978): The efficient hierarchical data structure for the U.S. historical boundary file. Harvard papers on geographic information Systems 4, Cambridge.
- BILL, R. (1992): Raum und Zeit - neue Herausforderungen an Geo-Informationssysteme aus dem Umweltbereich. In: GÜNTHER, O./K.-P. SCHULZ/J. SEGGELE (Hg.): Umweltanwendungen geographischer Informationssysteme, Karlsruhe, S. 255-264.
- BLASCHKE, T. (1997): Landschaftsanalyse und -bewertung mit GIS. Methodische Untersuchungen zu Ökosystemforschung und Naturschutz am Beispiel der bayerischen Salzachauen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde 243, Trier.
- BLOBEL, A./H. LUTTERMANN (1995): Forschungsbericht zum Projekt CHRONOS: „Integration von Zeit in GIS“. FAW TR-95007, Ulm.
- CAR, A./FRANK, A. (1995): Formalisierung konzeptioneller Modelle für GIS - Methode und Werkzeug. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie, S. 297-305.
- DENECKE, D. (1972): Die historisch-geographische Landesaufnahme. Aufgaben, Methoden und Ergebnisse, dargestellt am Beispiel des mittleren und südlichen Leineberglandes. In: HÖVERMANN, VG. OBERBECK (Hr.): Hans-Poser Festschrift. Göttinger Geographische Abhandlungen 60, Göttingen. S. 401-437.
- DENECKE, D. (1987): Grundlagenforschung der Historischen Geographie für die Erhaltung und Gestaltung unserer Kulturlandschaft. Einführung. In: BECHER, H./W.-D. HÜTTEROTH (Hr.): 46. Deutscher Geographentag, München 12. bis 16. Oktober 1987. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen, Stuttgart, S. 153-157.
- DIDINGER, O. (1996): Bereitstellung von Basisinformationen: Automatisiertes Liegenschaftsbuch ALB, Automatisierte Liegenschaftskarte ALK, Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem. In: Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz (Hg.): Das Geoinformationssystem ATKIS und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung, Koblenz, S. 19-30.
- DOLLINGER, F. (1989): Wie kam die Geographie zum GIS? Über die Entwicklung des GIS-Konzeptes in der Landschaftsforschung; S11-26. In: Dollinger, F./J. Strobl (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie. Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1989. Salzburger Geographische Materialien 13, Salzburg.

- DRIESCH, U. v. d. (1987): Historisch-geographische Inventare von Kulturlandschaftselementen und ihr Beitrag zur Erhaltenden räumlichen Planung. In: BECHER, H./W.-D. HÜTTEROTH (Hg.): 46. Deutscher Geographentag München 12. bis 16. Oktober 1987. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen, Stuttgart, S. 157-178.
- DUMFARTH, E. (1996): Interpolation von Oberflächen mit CRS (completely regulized spline with smoothing and tension). In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographisches Informationstechnologie. S. 27-38.
- EBBINGHAUS, J. (1994): Einsatz objektorientierter Datenbanktechnologie im geographischen Informationssystem GODOT. In: KREMERS, H. (Hg.): Umweltdatenbanken. Praxis der Umweltinformatik 5, Marburg, S. 37-58.
- FEHN, K./W. SCHENK (1993): Das historisch-geographische Kulturlandschaftskataster - eine Aufgabe der geographischen Landeskunde. Ein Vorschlag insbesondere aus der Sicht der Historischen Geographie in Nordrhein-Westfalen. Berichte zur deutschen Landeskunde 67, S. 479-488.
- FLIEDNER, D. (1987): Raum, Zeit und Umwelt. Eine theoretische Betrachtung aus anthropogeographischer Sicht. Geographische Zeitschrift 75, S. 72-85.
- FREVEL, H. (1996): Konzeption, Aufbau und Datenangebot des Geoinformationssystems ATKIS. In: Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz (Hg.): Das Geoinformationssystem ATKIS und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung, Koblenz, S. 31-46.
- GASCOIGNE, J. (o.J.): A la recherche du temps perdu (II): Incorporating time into GIS with respect to environmental modelling. <http://www.geog.leeds.ac.uk/staff/m.blake/magis94/gisjg/exproc/exproc.htm> (Abfrage vom 25.6.1998).
- GRAAFF, W. de/F. BOEKEMA (1997): Regionale data: vraag, aanbod en toepassing, Assen.
- GREVE, K. (1997): Objekte der Metadatenverarbeitung im Umweltbereich. In: DE LANGE, N. (Hg.): Metadaten. OSG-Materialien 33, S. 27-42.
- GREVE, K. (1990): Konzeptionelle Überlegungen zum Einsatz eines Rauminformationssystems in der Historischen Stadtforschung - Das Beispiel Altona 1803. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologien II. Salzburger Geographische Materialien 15, Salzburg, S. 171-180.
- GRÜNREICH, D. (1992): Aufbau von Geo-Informationssystemen im Umweltschutz mit Hilfe von ATKIS. In: GÜNTHER, O./K.-P. SCHULZ/J. SEGELKE (Hg.): Umweltsanwendungen geographischer Informationssysteme, Karlsruhe. S. 3-14.
- GÜNTHER, O./J. LAMBERTS (1992): Objektorientierte Techniken zur Verwaltung von Geodaten. In: GÜNTHER, O./W.-F. RIEKERT (Hg.): Wissensbasierte Methoden der Fernerkundung der Umwelt, Karlsruhe, S. 55-90.
- HENDRIKS, P./H. OTTENS (1997): Kennismaking met GIS. In: HENDRIKS, P./H. OTTENS (Hg.): Geografische Informatie Systemen in ruimtelijk onderzoek, Assen, S. 1 -20.

- HENKEL, G. (1997): Kann die überlieferte Kulturlandschaft ein Leitbild für die Planung sein? Berichte zur Deutschen Landeskunde 71, S. 27-37.
- JONG, T. de/H. OTTENS (1997): GIS Functionality for Multi-Level Research. In: WESTERT, G.P./R.N. VERHÖEFF (Hg.): Places and People: multilevel modelling in geographical research. Nederlandse Geografische Studies 227. Utrecht, S. 44-54.
- KILCHENMANN, A. (1991): Klassifikation, Datenanalyse und Informationsverarbeitung in der Geographie und Geoökologie. Karlsruher Manuskripte zur Mathematischen und Theoretischen Wirtschafts- und Sozialgeographie 98. Karlsruhe.
- KILCHENMANN, A. (1992): GIS: Vergangenheit - Gegenwart - Zukunft. In: KILCHENMANN, A. (Hg.): Technologie Geographischer Informationssysteme, Berlin/Heidelberg/New York, S. 1-12.
- KLEEFELD, K.-D. (1994): Historisch-geographische Landesaufnahme und Darstellung der Kulturlandschaftsgenese des zukünftigen Braunkohlenabbaugebietes Garzweiler II, Diss. Bonn.
- KOLLARITS, S. (1996): Mobilität und GIS: Probleme der Repräsentation und Analyse. In: DOLLINGFR, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie, VIII. Beiträge zum GIS-Symposium 3.-5. Juli 1996. Salzburger Geographische Materialien 24, Salzburg, S. 371-384.
- LANG, R. (1984): Probleme bei der zeitlichen und räumlichen Aggregierung topologischer Daten. Geomethodica 9, S. 67-104.
- LANGRAM, G. (1993): Time in Geographie Information Systems, London/Washington.
- LAURINI, R./D. THOMPSON (1992): Fundamentals of Spatial Information Systems. The A.P.I.C. Series 37, London.
- LUTTERMANN, H./A. BLOBEL (1995): CHRONOS: A Spatio-Temporal Data Server for a GIS. In: KREMERS, H./W. PILLMANN (Hg.): Raum und Zeit in Umweltinformationssystemen. 9th international symposium an Computer science for environmental protection CSEP '95, Teil I, Umwelt-Informatik aktuell 7, Marburg, S. 135-142.
- LUTZE, G./A. SCHULTZ (1995): Daten und Modelle für die Charakterisierung von Agrarlandschaften. In: KREMERS, H./W. PILLMANN, W. (Hg.): Raune und Zeit in Umweltinformationssystemen. 9^o International Symposium an Computer Science for Environmental Protection CSEP '95, Teil I. UmweltInformatik aktuell 7, Marburg, S. 234-241.
- MAGUIRE, D.J./J. DANGERMOND (1991): The Functionality of GIS. In: MAGUIRE, D.J./M.F. GOODCHILD/D.M. RHIND (Hg.): Geographical Information Systems: Principals and Applications, Vol. 1 : Principals, Harlow, S. 319-335. MARGRAF, O. (1994a): Zum Aufbau länderkundlicher Geographischer Informationssysteme. Europa Regional 2, S. 27-40.
- MARGRAF, O. (1994b): Zum Ansatz eines länderkundlichen GIS für Sachsen. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie, S. 487-498-

- MARGRAF, O. (1995): Die landeskundliche Inventarisierung als Grundlage für den Aufbau der Datenbasis für ein länderkundliches GIS. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie VII. Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1995. Salzburger Geographische Materialien 22, Salzburg. S. 131-136.
- MOLENAAR, M. (1997): Conceptuele ruimtelijke gegevensmodellen. In: HENDRIKS, P./H. OTTENS (Hg.): Geografische Informatie Systemen in ruimtelijk onderzoek. Assen, S. 21-44.
- MONMONIER, M. S. (1989): Geographie Information Systems. In: PERKINS, C.R./R.B. PARRY (Hg.): Informations Sources in Cartography, London u.a., S. 214-231.
- OTT, Th. (1993): GIS in der Anthropogeographie. Regionale Disparitäten und Städtensystem in Europa. Materialien zur Geographie 22, Mannheim.
- OTT, TH./F. SWIACZNY (1998): The analysis of cultural landscape change: A GIS approach. In: Mannheimer Geographische Arbeiten (in Vorbereitung).
- PIERAU, K. (1996): Geographische Informationssysteme in der Historischen Sozialforschung. Eine vergleichende Übersicht. In: Historical Social Research, Vol. 21.4, S. 124-135.
- PIERAU, K. (1998): Verwaltungsreform und ihre computergerechte Darstellung. Unveröffentlichtes Manuskript des Zentralarchivs für Empirische Sozialforschung Köln vom 6.2.98.
- QUASTEN, H./J.M. WAGNER (1996): Inventarisierung und Bewertung schutzwürdiger Elemente der Kulturlandschaft - Eine Modellstudie unter Anwendung eines GIS. Berichte zur Deutschen Landeskunde 70, S. 301-326.
- RASE W.-D. (1996): Interpolation von stetigen Oberflächen aus flächenbezogenen Informationen. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie, S. 17-26.
- SAURER, H./BEHR, F.-J. (1997): Geographische Informationssysteme. Eine Einführung, Darmstadt.
- SOUTHALL, H./B. WHITE (1997): Creating an electronic historical atlas of Britain. Geocal 16. S. 3-6.
- STANEK, H./N. SMITH/A. GIORDANO (1995): Modellierung und Normierung von Datenqualität im GIS. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie VII. Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1995. Salzburger Geographische Materialien 22. Salzburg, S. 265-274.
- STROBL, J. (1995): Grundzüge der Metadatenorganisation für GIS. In: DOLLINGER, F./J. STROBL (Hg.): Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1995. Beiträge zur Geographischen Informationswissenschaft VII. Salzburger Geographische Materialien 22, Salzburg, S. 275-286.
- SWIACZY, F. (1997): GIS research strategies for the social sciences. Working with spatial data. In: BANDILLA, W./F. FAULBAUM (Hg.): Softstat '97. Advances in Statistical Software 6, Stuttgart. S. 215-222.